

Janne Heikkinen

KORKEUDEN VAIKUTUS HAPPISTURAATIOMITTAUKSEEN

KORKEUDEN VAIKUTUS HAPPISATURAATIOMITTAUKSEEN

Janne Heikkinen
Opinnäytetyö
Syksy 2023
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan tutkinto-ohjelma, Ohjelmistokehityksen suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Janne Heikkinen
Opinnäytetyön nimi: Korkeuden vaikutus happisaturaatiomittaukseen
Työn ohjaajat: Jukka Jauhiainen, Markku Jurmu
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2023
Sivumäärä: 30 + 1 liite

Työn tarkoituksena oli tutkia happisaturaatiomittauksen tarkkuutta, luotettavuutta ja toistettavuutta. Työn tavoitteena oli saada hyvä kuva siitä, miten ihmisen happisaturaatio muuttuu ja sen mittaaminen toimii simuloitussa tilanteessa. Happisaturaatioarvo alkaa pudota, kun hengitettävänä on vähähappisempaa ilmaa. Työn testeissä mitattiin myös muita fysikaalisia ominaisuuksia.

Mittaukset toteutettiin suunnittelemalla testausprotokolla ja hankkimalla riittävä määrä testattavia henkilöitä. Testeissä käytettiin korkeusgeneraattoria ja happitelttä, joiden avulla voitiin simuloida eri korkeuksia syöttämällä vähähappisempaa ilmaa teltan sisälle. Testeissä simuloitiin kolme eri korkeutta meren pinnan tason lisäksi ja tarkkailtiin, miten mittaukset reagoivat. Korkeudet simuloitiin kaksi kertaa jokaisessa testissä.

Testien mittaustulokset tallennettiin mittalaitteelta ohjelmistojen avulla analysointia varten. Tuloksissa odotetusti ilmanpaine pysyi samana oikeaan tilanteeseen verrattuna. Korkealla ilmanpaine ja sitä kautta hapen osapaine alenee. Hiilidioksidipitoisuus kasvoi teltassa suureksi, mitä ei tapahdu ulkoilmassa. Ilman hiilidioksidipitoisuuden nousu on voinut hieman parantaa hapen siirtymistä kudoksiin ja sitä kautta alentavan veren happisaturaatioarvoa. Happisaturaatiomittaus reagoi selkeästi ja tarkasti korkeuden muutoksiin. Joillakin testattavilla tarkkuus oli hyvä ja häiriöitä mittauksessa ei ollut ollenkaan. Osalla oli mittauksessa enemmän hajontaa ja vähän häiriöitä. Kokonaisuutena happisaturaatio-mittalaitteen tarkkuus, toimintavarmuus ja reagointi olivat hyvällä tasolla.

Asiasanat: Happisaturaatio, SpO₂, pulssioksimetria, happiosapaine

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Information Technology, Option of Software Development

Author: Janne Heikkinen
Title of thesis: Effect of Altitude on Oxygen Saturation Measurement
Supervisors: Jukka Jauhiainen, Markku Jurmu
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2023
Number of pages: 30 + 1 appendix

The aim of this thesis was to research oxygen saturation measurement reliability and accuracy. Purpose of the thesis was to see how people oxygen saturation reacts and changes in tests. Oxygen saturation starts to decrease when human breathes air which contain less oxygen. Also, other physical measurements were investigated.

Measures were proceeded by using planned test protocol and got enough persons to tests. Altitude generator and oxygen tent were used in the tests. Three different altitudes were simulated in addition to sea level in tests. Generator fed air which contains less oxygen to simulate different altitudes. Same altitudes were simulated twice in each test.

Test results were saved from devices for further analysing. In results air pressure remained same as expected. In real situation air pressure and oxygen partial pressure drops when altitude is rising. Carbon dioxide amount increased a lot in small tent. Higher amount of carbon dioxide in air could improve oxygen transition to body tissues. That could cause to lower blood oxygen saturation level. Oxygen saturation measurement seemed to react logically and accurately in changes of altitude. Few tests accuracy and reliability were very good. Few tests there were some interferences in measurement. Overall oxygen saturation measurement worked very accurate and reacted good.

Keywords: oxygen saturation, SpO₂, pulse oximetry, oxygen partial pressure

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	HAPPISATURAATIO	7
2.1	Happisaturaation määritelmä.....	7
2.2	Alhaisen happisaturaation oireet	9
2.3	Alhaista happisaturaatiota aiheuttavat tekijät	9
3	MITTAUSMENETELMÄT	11
3.1	Pulssioksimetria	11
3.2	Valtimoveren kaasutesti	11
3.3	Älylaitteet.....	11
3.4	Happisaturaatiomittauksen käyttökohteet.....	12
4	FYSIKAALISET TEKIJÄT	13
4.1	Ilman koostumus	13
4.2	Korkeuden vaikutus ilmanpaineeseen	13
4.3	Korkeuden vaikutus happipitoisuuteen	14
4.4	Korkeuden vaikutus ihmiseen.....	16
5	ESIVALMISTELUT	17
5.1	Laitteisto.....	17
5.2	Datan käsittely.....	19
5.3	Mittausprotokolla	19
5.4	Testausvaihe	20
6	TULOKSET	22
6.1	Korkeus ja happipitoisuus.....	22
6.2	Korkeus ja ilmanpaine	23
6.3	Hiilidioksidipitoisuus	24
6.4	Happisaturaatio	25
7	YHTEENVETO	28
	LÄHTEET.....	29
	LIITTEET	33

1 JOHDANTO

Työ tehtiin eräälle yritykselle. Tilaajalla oli tarvetta tehdä testauskierros happisaturaatiomittauksesta ja sen toiminnasta. Työ tehtiin yhteistyössä tilaajan kanssa. Työn tarkoituksena oli testata happisaturaatiomittauksen toimintaa, tarkkuutta ja luotettavuutta eri henkilöillä.

Tarkoituksena oli myös suunnitella ja toteuttaa testauskierros mittaukselle. Testauskierroksen piti olla tarpeeksi pitkä, jotta saatiin mahdollisimman kattava määrä dataa. Testissä toistettiin samat korkeudet kaksi kertaa, jotta voitiin varmistua mittauksen luotettavuudesta. Testejä piti olla myös riittävä määrä, jotta voidaan varmistua mittauksen laadukkuudesta eri henkilöillä.

Testeissä tarkasteltiin muitakin mittauksia kuin happisaturaatio. Mitattiin myös ilmanpainetta, ilman happipitoisuutta ja hiilidioksidipitoisuutta. Happisaturaatioarvoihin saatiin eroja simuloimalla eri korkeuksia testilaitteiston avulla. Simuloitu korkeus saatiin aikaan vähentämällä happipitoisuutta hengitettävästä ilmasta. Ilmassa, joka sisältää vähemmän happea, ihmisen happisaturaatioarvoihin tulee muutoksia. Mittauksien tuloksia tarkasteltiin usean testin ja myös testin kahden toistokerran avulla.

2 HAPPISATURAATIO

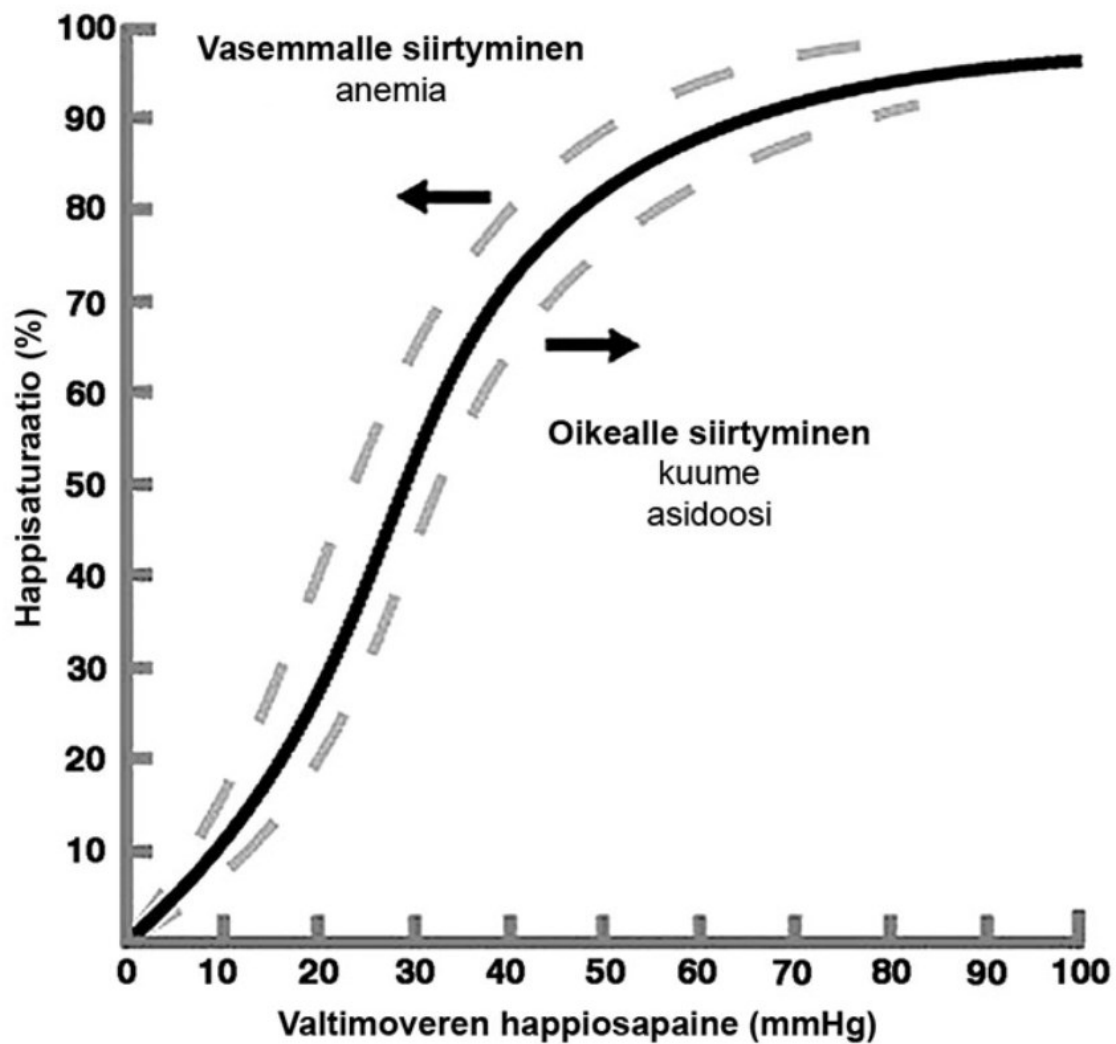
2.1 Happisaturaation määritelmä

Happisaturaatio (SpO_2) eli happikyllästeisyys kertoo, kuinka suuri osa verenpunan hapensitomiskohdista on hapen kyllästämiä. Happisaturaatio kertoo, kuinka hyvin elimistön kudokset saavat happea. (1.)

Happisaturaatio ilmoitetaan prosenteissa. Tarkemmin kerrottuna se on hapetetun hemoglobiinin määrä suhteessa hemoglobiinin kokonaismäärään. Hemoglobiini on proteiini, joka kuljettaa happea veressä. SpO_2 lasketaan valtimoverestä. Happisaturaatioiden tavoitearvot määritellään keuhkoiltaan terveiden ihmisten mukaan. Tavoitearvot ihmisillä:

- Yli 96 % | normaali happisaturaatio
- 89 – 95 % | lievä happivajaus
- 80 – 88 % | keskivaikea happivajaus
- Alle 80 % | vaarallinen, vaikea happivajaus. (1.)

Keuhkosairauksista esimerkiksi keuhkohtaumatautia sairastavavilla happisaturaation tavoitearvot ovat alemmat. Tavoite voi olla 88–92 %. Kuviossa 1 on esitetty hapen dissosiaatiokäyrä. (1.)



KUVIO 1. Valtimoveren happiosapaineen ja happisaturaation korrelaatio (2.)

Kudosten alhaista happipitoisuutta kutsutaan hypoksiaksi. Rajana pidetään valtimoveren osapainetta 60 mmHg (8,0 kPa), mikä on happisaturaatiolukemana noin 89 %. Yli 90 %:n happisaturaatioarvoilla jo pienet muutokset happisaturaatiossa merkitsevät isoja muutoksia happiosapaineessa. Toisin päin, kun happisaturaatio on alle 90 %, niin vasta isot muutokset happisaturaatiossa näkyvät isona muutoksena happiosapaineessa. Kuviosta nähdään, että kuume ja asidoosi yliarvioivat happisaturaatiomittauksen kudoshypoksian riskin. Anemia aiheuttaa sen, että happisaturaatiomittaus aliarvioi kudoshypoksian riskin. (2.)

2.2 Alhaisen happisaturaation oireet

Alhainen happisaturaatio aiheuttaa oireita ihmiselle, kun kudokset eivät saa tarpeeksi happea. Tavanomaisimpia oireita alhaisen happisaturaation oireille ovat:

- hengitysvaikeudet
- hintakipu
- päänsärky
- kiihtynyt syke
- sekavuus (1.)

Jatkuva alhainen happisaturaatio voi aiheuttaa myös syanoosia. Syanoosi aiheuttaa kynnen alusien ja ihoalueiden värjäytymistä siniseksi. Sininen väri aiheutuu alhaisessa happisaturaatiosta veressä. Syanoosi saattaa aiheuttaa hengitysvajausta, mikä voi olla vaarallista. (1.)

2.3 Alhaista happisaturaatiota aiheuttavat tekijät

Yleensä alhaisia happisaturaatioarvoja aiheuttaa keuhkojen ja verenkierron toimintaan vaikuttavat sairaudet. Tällaisia sairauksia ovat esimerkiksi:

- astma
- anemia
- uniapnea
- keuhkohtaumatauti
- monet sydänsairaudet (1.)

Useasti ne ovat keuhkojen toimintaan vaikuttavia sairauksia. Sairaus aiheuttaa sen, että keuhkot eivät saa sisään hengitettyä happea ja uloshengitettyä hiilidioksidia tarpeeksi. Verenkierron toimintaan vaikuttavat sairaudet voivat aiheuttaa myös alhaista happisaturaatiota, kun verenkiertoelimistö ei saa kuljetettua tarpeeksi happea kudoksiin. (1.)

Alhaista happisaturaatiota voivat aiheuttaa myös muut tekijät. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi

- sydämen vajaatoiminta, joka johtuu taustalla olevasta sydänsairaudesta
- tupakointi
- huono peruskunto
- huono hengitystekniikka (pinnallinen hengitys). (3.)

3 MITTAUSMENETELMÄT

3.1 Pulssioksimetria

Happisaturaatiomittarina käytetään pulssioksimetria, joka mittaa henkilön happisaturaation ja sykkeen. Yleisin pulssioksimetri on sormenpään liitettävä pieni laite. Pulssioksimetria käytetään laajasti hypoksian eli veren alhaisen happipitoisuuden tunnistamiseen.

Pulssioksimetri toimii lähettämällä kahta erilaista valoa. Punaista ja infrapunaista lähetetään esimerkiksi sormenpään tai korvanlehden läpi. Happisaturaation ja sykkeen pulssioksimetri mittaa tunnistamalla, miten valo kulkee kudoksessa. Yksi mahdollinen pulssioksimetrin toimintatapa voi perustua valon heijastumiseen kudoksesta. (1.)

3.2 Valtimoveren kaasutesti

Valtimoveren kaasutesti on veritesti. Siinä otetaan näyte valtimoverestä yleensä ranteesta, josta mitataan arvoja. Veren happipitoisuus mitataan verestä ja mittaus on todella tarkka. Valtimoveri on happipitoista toisin kuin laskimoveri. Muiden kaasujen pitoisuuksia ja muita arvoja saadaan myös testistä. (1.)

3.3 Älylaitteet

Älylaitteet voivat toimia hyvin suunta antavana tietolähteenä oman happisaturaation tasosta. Älylaite hyödyntää led-valoa, joka menee ihon läpi. Happisaturaatio mitataan sen avulla, miten valo heijastuu takaisin. Mittauksia voidaan pitää suhteellisen tarkkana, mutta vain suuntaa antavana. Älylaitteet voivat toimia hyvin yön aikaisen happisaturaation mittaamiseen. Käyttäjä voi seurata, onko happisaturaatiotasoissa laskua yön aikana. Laitteiden avulla voidaan havaita esimerkiksi uniapneasta kärsivä ihminen. (3.)

3.4 Happisaturaatiomittauksen käyttökohteet

Happisaturaatiota mittaamalla voidaan selvittää useita terveyteen liittyviä asioita. Tällaisia voivat olla esimerkiksi, miten keuhkolääkitys tehoaa, tai hengityslaite auttaa. Mittaamalla happisaturaatioilla henkilön nukkuessa voidaan tarkastella, tuleeko henkilölle hengityskatkoksia yöllä. Yöllinen mittaaminen on tärkeä osa esimerkiksi uniapneatutkimuksissa. Matalat happisaturaatioarvot viittaavat hengityskatkoksiin yöllä. Vaikeasta uniapneasta kärsivillä happisaturaatio on matala 70–90 %. (3.)

Aktiivurheilijat voivat seurata arvosta fyysisen rasituksen vaikutuksia kehoonsa. Mittaaminen voi auttaa aktiivurheilijoita ja keuhkosairauksista kärsiviä harjoittelemaan rankemmin ja turvallisemmin. (1.)

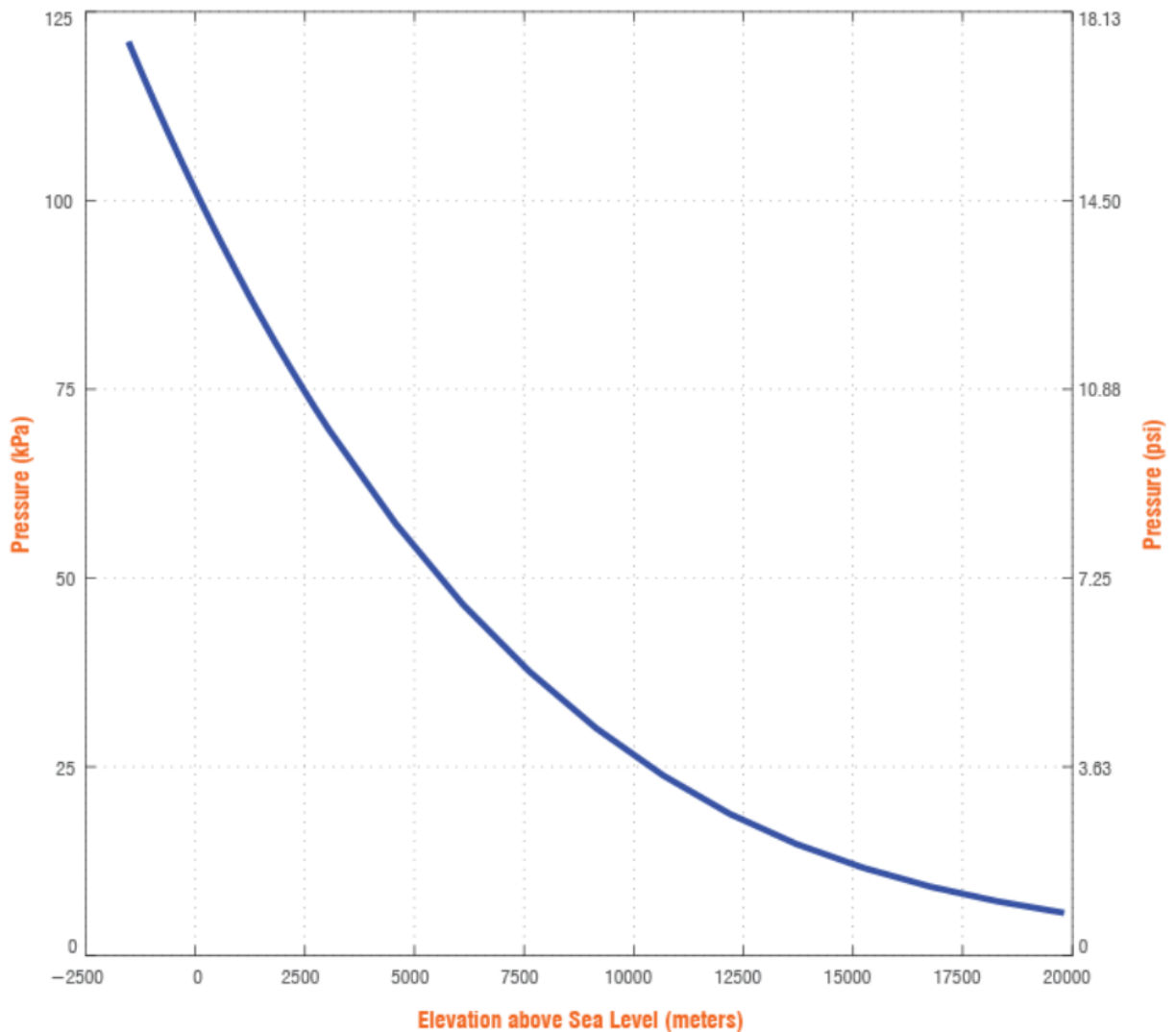
4 FYSIKAALISET TEKIJÄT

4.1 Ilman koostumus

Ilma muodostaa Maan ilmakehän ja on useiden eri kaasujen seos. Ilma sisältää suurimmaksi osaksi typpeä ja happea. Ilman typpipitoisuus on noin 78 % ja happipitoisuus 20,9 %. Ilma sisältää pieniä määriä myös muita kaasuja kuten hiilidioksidia, argonia, neonia ja heliumia. Ilmassa on myös noin 1 % vesihöyryä. Ilman sisältämä happi on elintärkeä kaasu ihmiselle. (4.)

4.2 Korkeuden vaikutus ilmanpaineeseen

Ilmanpaine muuttuu aina korkeuden muuttuessa. Ilmanpaine meren pinnan tasolla on noin 1,01325 baaria (bar) tai 760 elohopeamillimetriä (mmHg). Yksi baari on 100 kilopascalina (kPa). Ilmanpaine pienenee, mitä suuremmaksi korkeus tulee. 8 metrin nousu korkeussuunnassa vastaa noin yhden millibaarin (1 mbar) pienenemistä ilmanpaineessa. Ilmanpaineen ja korkeuden välistä yhteyttä on esitetty kuviossa 2. (5.)



KUVIO 2. Korkeuden ja ilmanpaineen välinen yhteys (6.)

Kuvassa paine on kuvattu pystyakselilla ja korkeus vaaka-akselilla. Esimerkiksi 2 500 metrin korkeudessa ilmanpaine on noin 74 % meren pinnan tasosta ja 5 000 metrin korkeudessa enää 53 %.

4.3 Korkeuden vaikutus happipitoisuuteen

Ilma sisältää happea noin 21 % meren pinnan tasolla, joka tarkoittaa korkeutta nolla metriä. Alin korkeus, mikä luetaan fysiologiassa suureksi, alkaa noin 1 500 metrin kohdalta. Siinä korkeudessa ihmisen keho aistii muutoksen happipitoisuudessa ja reagoi lisäämällä hengitystä. (7.)

Noin 3 000 metrin korkeudessa ilmanpaine on enää noin 0,71 baaria. 3 000 metrin korkeudessa hengitetty ilma vastaa enää 15 % happea sisältävää ilmaa verrattuna meren pinnan tasoon 21 %. Tuloksena on, että ilmassa on jo 30 % vähemmän happea verrattuna meren pinnan tasoon. Reilun 4 000 metrin korkeudessa happea on jo 43 % vähemmän. (7.)

Ilman suhteelliset prosenttiosuudet eivät todellisuudessa muutu eri korkeuksissa, vaan ilma sisältää aina noin 21 % happea ja 78 % typpeä meren pinnan tasolla ja esimerkiksi 3 000 metrin korkeudessa. Hapen määrän väheneminen korkeuden suurentuessa johtuu ilmanpaineen pienemisestä. Hapen osapaine ja määrä pienenee ilmanpaineen pienentyessä. Tämä aiheuttaa sen tunteuksen, että ilmassa on pienempi prosentti happea. Korkeuden aiheuttaman hapen osapaineen väheneminen voidaan havainnollistaa esittämällä vaikuttavan hapen määrä prosenteissa verrattuna meren pinnan tasoon. Taulukossa 1 on esitetty vaikuttavan hapen määrä eri korkeuksissa. (8.)

TAULUKKO 1. Vaikuttavan hapen määrä prosenteissa eri korkeuksissa (8.)

Altitude (meters)	Altitude (feet)	Effective Oxygen %	Altitude Category	Example
0	0	20.9	Low	Boston, MA
500	640	19.6	Low	
1000	3281	18.4	Medium	
1500	4921	17.3	Medium	Boulder, CO
2000	6562	16.3	Medium	
2500	8202	15.3	High	Aspen, CO
3000	9843	14.4	High	
3500	11483	13.5	High	
4000	13123	12.7	Very High	
4500	14764	11.9	Very High	Pikes Peak
5000	16404	11.2	Very High	Mont Blanc
5500	18045	10.5	Extreme	
6000	19685	9.9	Extreme	Kilimanjaro
6500	21325	9.3	Extreme	Limit of MAG-30
7000	22966	8.7	Extreme	Aconcagua
7500	24606	8.2	Extreme	
8000	26247	7.7	Ultra	
8500	27887	7.2	Ultra	
9000	29528	6.8	Ultra	Everest

Taulukosta 1 voidaan todeta, että hapen määrä 2 000 metrin korkeudessa on pienentynyt jo 16,3 %:iin ja 5 000 metrin korkeudessa happea on enää 11,2 %. Euroopan korkein kohta Mont Blanc on noin 5 000 metrin korkeudessa. Värit kuvastavat eri korkeusluokkia. Esimerkiksi keltainen väri 2 500–4 000 metriä on jo korkean riskin vaikuttavaa aluetta. (8.)

4.4 Korkeuden vaikutus ihmiseen

Korkeassa paikassa oleskellessa ihmisen kehon pitää sopeutua matalampaan happitasoon. Kehossa tapahtuu useita muutoksia tämä seurauksena. Ihminen hengittää nopeammin ja syvemmin saadakseen enemmän happea. Sydämen syke myös kasvaa, jotta kehon kudokset saavat tarpeeksi happea. Syke yleensä tasaantuu aiemmalle tasolle muutaman päivän kuluessa. Virtsaamisen tarve myös lisääntyy kehon säätäessä happo-emästasapainoa kohdalleen. Myös kädet, jalat ja kasvot saattavat hieman turvota. (7.)

Ongelmat unen kanssa ovat tyypillisiä korkealla oleskellessa. Matala happitaso vaikuttaa suoraan aivojen unikeskukseen. Heräilyt ja enemmän kevyttä unta ovat tyypillisiä ongelmia. Yleensä nämä ongelmat vähenevät muutaman yön jälkeen. Ongelmat unen kanssa liittyvät hengitykseen unen aikana. (7.)

5 ESIVALMISTELUT

Ennen testausvaiheen aloittamista tutustuttiin happisaturaation fysiologiaan ja teoriaan. Samalla aloitettiin sopivien testihenkilöiden rekrytointi. Myös turvallisuustekijöihin perehdyttiin. Esivalmisteluissa hankittiin myös sopiva laitteisto testauksien suorittamiseen. Laitteet ja tilat tulivat työn tilaajalta. Myös sopivaa testausprotokollaa mietittiin, ja palaveroitiin tilaajan työntekijöiden kanssa. Testihenkilöitä löytyi hyvin mittaukseen.

5.1 Laitteisto

Testauksissa käytettiin Hypoxicon korkeusgeneraattoria ja happitelttä (kuvio 3). Korkeusgeneraattori tuottaa vähähappista ilmaa ja sillä voidaan pienentää tilan happipitoisuutta. Teltta toimi tilana ja korkeusgeneraattorin avulla voitiin säätää teltan happipitoisuutta. Laitteistossa oli mittari, jolla pystyttiin mittaamaan sisään menevän ilman happipitoisuus. Korkeusgeneraattorin avulla pystyttiin simuloimaan eri korkeuksia. Laitteistolla pystyy simuloimaan jopa 6 400 metrin korkeutta. (9.)

Laitteistolla oli myös muita mittauksia:

- Korkeus
- Happipitoisuus
- Hiilidioksidipitoisuus
- Ilmanpaine
- Lämpötila (10.)



KUVIO 3. Testeissä käytetty korkeusgeneraattori (9.)

Happisaturaatiomittauksissa käytettiin SOMNOmedicin valmistamaa mittaria SOMNOtouch (kuvio 4). Mittarin dataa käytettiin varsinaisten tulosten analysointiin. Tärkein mittaus, mitä tarkkailtiin, oli happisaturaatio. Laite mittaa myös muita arvoja, kuten sykkeen. Lisäksi testeissä käytettiin myös muutamia muita mittareita, joita ei ole käsitelty tässä työssä. (11.)



KUVIO 4. Laite happisaturaation mittaamiseen (11.)

5.2 Datan käsittely

Korkeusgeneraattorin mittauksien tallentamiseen käytettiin erään kehittäjän tekemää ohjelmistoa, joka tallensi kaikki mittaustulokset tiedostoon. Ohjelma käynnistettiin komentokehoteella ja mitaukset näkyivät komentorivillä koko testin ajan. Happisaturaatioarvot tallennettiin omalle laitteelle ja laitteelta purettiin kaikki data ohjelmiston avulla tietokoneelle.

5.3 Mittausprotokolla

Ennen varsinaisen testausprotokollan tekemistä tehtiin esivalmisteluja. Testauslaitteistolle oli varattu sopiva paikka sisätiloissa ja testauspaikka oli meren pinnan tasolla. Testauslaitteistolla suoritettiin muutamia alustavia testejä. Testeillä haluttiin varmistaa, että testauksissa käytettävä laitteisto ja mitaukset toimivat. Soveltuvuus eri henkilöille varmistettiin myös. Toimivien alustavien testien perusteella siirryttiin varsinaisen testausvaiheen suunnitteluun ja toteutukseen.

Työn tilaajan kanssa suunniteltiin sopivaa testausprotokollaa. Mittauksista haluttiin saada mahdollisimman hyvä ja hyödyllinen testausdata ulos. Sopiva testausprotokolla löytyikin suunnittelun jälkeen. Testauksen tarkoituksena oli simuloida korkeusgeneraattorin ja happitelan avulla eri korkeuksia ja mitata henkilön happisaturaatioarvoja. Myös muita mittauksia oli mukana testeissä. Testausprotokolla on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Happisaturaatiomittauksen protokolla

Happisaturaatiomittaus	
Kesto	Korkeus
0 - 5 min	0 m
5 - 15 min	2000 m
15 - 25 min	3000 m
25 - 35 min	4000 m
35 - 45 min	0 m
45 - 55 min	2000 m
55 - 65 min	3000 m
65 - 75 min	4000 m
75 - 85 min	0 m

Testausprotokollan ideana oli, että simuloidaan eri korkeuksia portaittain ja nähdä, miten testattavan happisaturaatioarvot muuttuvat. Tarkoituksena oli myös, että jokainen portaan kesto on riittävä, jotta happisaturaatioarvot ehtivät tasaantua. Alussa oltiin meren pinnan tasolla 5 minuuttia ja sen jälkeen yhden vaiheen kesto oli aina 10 minuuttia. Portaot suoritettiin läpi kaksi kertaa, jotta nähtäisiin, tuleeko arvoihin toisella kierroksella eroja. Testin kokonaiskesto oli 85 minuuttia.

5.4 Testausvaihe

Testausvaiheeseen oli hankittu 10 henkilöä, joiden kanssa oli sovittu testausajat. Testattaville oli ilmoitettu ennen testiä mittauksen sisältö ja tarkoitus. Testauksen turvallisuusohjeita käytiin myös läpi ennakkoon. Testeihin oli laadittu suostumuslomake, jossa oli turvallisuusohjeet, ja infoa mittauksesta. Kun testattavan kanssa oltiin aloittamassa testiä, käytiin läpi vielä testausprotokolla ja suostumuslomake.

Testi aloitettiin laittamalla mittauslaitteet testattavalle ja ohjeistamalla, miten testin aikana toimitaan. Testaaja oli koko testin ajan makuullaan ja ylävartalo oli happiteltassa. Testaajan tuli pysyä paikallaan ja hengittää mahdollisimman normaalisti koko testin ajan. Testaajan kanssa käytiin läpi, että hän voi halutessaan keskeyttää testin koska tahansa.

Mittaus aloitettiin niin, että happiteltan helmat olivat ylhäällä ja oltiin meren pinnan tasolla. Seuraavaksi happiteltan helmat laskettiin alas ja lähdettiin simuloimaan 2 000 metrin korkeutta korkeusgeneraattorin avulla. Seuraavaksi simuloitiin 3 000 metrin korkeus ja 4 000 metrin korkeus, jonka jälkeen taas nollan metrin tasolle nostamalla teltan helmat ylös. Samat korkeudet simuloitiin vielä toisen kerran. Happisaturaatioarvoja ja testaajan tilaa valvottiin koko testin ajan. Korkeuksia ja vaikeuttavan hapen prosenttimääriä on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Vaikuttava happipitoisuus eri korkeuksissa (12.)

Altitude (Feet)	Altitude (Meters)	O2 Monitor Reading	Effective Oxygen Percentage	Similar Location
Sea Level	Sea Level	20.90%	20.90%	Hypoxico HQ - New York, NY
1,000'	304m	20.10%	20.10%	Tbilisi, Georgia (1,479' - 451m)
2,000'	609m	19.40%	19.40%	Canberra, Australia (1,984' - 605m)
3,000'	914m	18.60%	18.60%	Chamonix, France (3,264' - 995m)
4,000'	1219m	17.90%	17.90%	Salt Lake City, UT (4,226' - 1288m)
5,000'	1524m	17.30%	17.30%	Boulder, CO (5,430' - 1655m)
6,000'	1828m	16.60%	16.60%	Stanley, ID (6,253' - 1906m)
7,000'	2133m	16%	16%	Flagstaff, AZ (6,910' - 2106m)
8,000'	2438m	15.40%	15.40%	Aspen, CO (7,907' - 2410m)
9,000'	2743m	14.80%	14.80%	Bogata, Columbia (8,660' - 2640m)
10,000'	3048m	14.30%	14.30%	Leadville, CO (10,200' - 3109m)
11,000'	3352m	13.70%	13.70%	Cusco, Peru (11,152' - 3399m)
12,000'	3657m	13.20%	13.20%	La Paz, Bolivia (11,942' - 3640m)
13,000'	3962m	12.70%	12.70%	Yabuk Camp, Sikkim, India (12,467' - 3800m)
14,000'	4267m	12.30%	12.30%	Pikes Peak, CO (14,115' - 4302m)
15,000'	4572m	11.80%	11.80%	Mount Rainier, WA (14,411' - 4392m)
16,000'	4876m	11.40%	11.40%	Mount Blanc (15,777' - 4808m)
17,000'	5181m	11%	11%	Everest Base Camp (16,900 ft. - 5150m)
18,000'	5486m	10.50%	10.50%	Mount Elbrus (18,510' - 5642m)
19,000'	5791m	10.10%	10.10%	Mt. Kilimanjaro (19,341' - 5895m)
20,000'	6096m	9.70%	9.70%	Mt. Denali (20,310' - 6190m)
21,000'	6400m	9.40%	9.40%	Hypoxico Home Generator Max
22,000'	6705m	9%	9%	Ama Dablam (22,349' - 6812m)
23,000'	7010m	8.70%	8.70%	Aconcagua (22,841' - 6960m)
24,000'	7315m	8.40%	8.40%	K12, Pakistan (24,370' - 7428m)
25,000'	7620m	8.10%	8.10%	Chomo Lonzo, Himalayas (25,604' - 7804m)
26,000'	7924m	7.80%	7.80%	Annapurna (26,545' - 8091m)
27,000'	8229m	7.50%	7.50%	Cho Oyu (26,864 ft. - 8188m)
28,000'	8534m	7.20%	7.20%	K2 (28,251 ft. - 8611m)
29,000'	8839m	6.90%	6.90%	Mt. Everest (29,029 ft. - 8848m)
30,000'	9144m	6.30%	6.30%	Hypoxico K2 High Flow Max

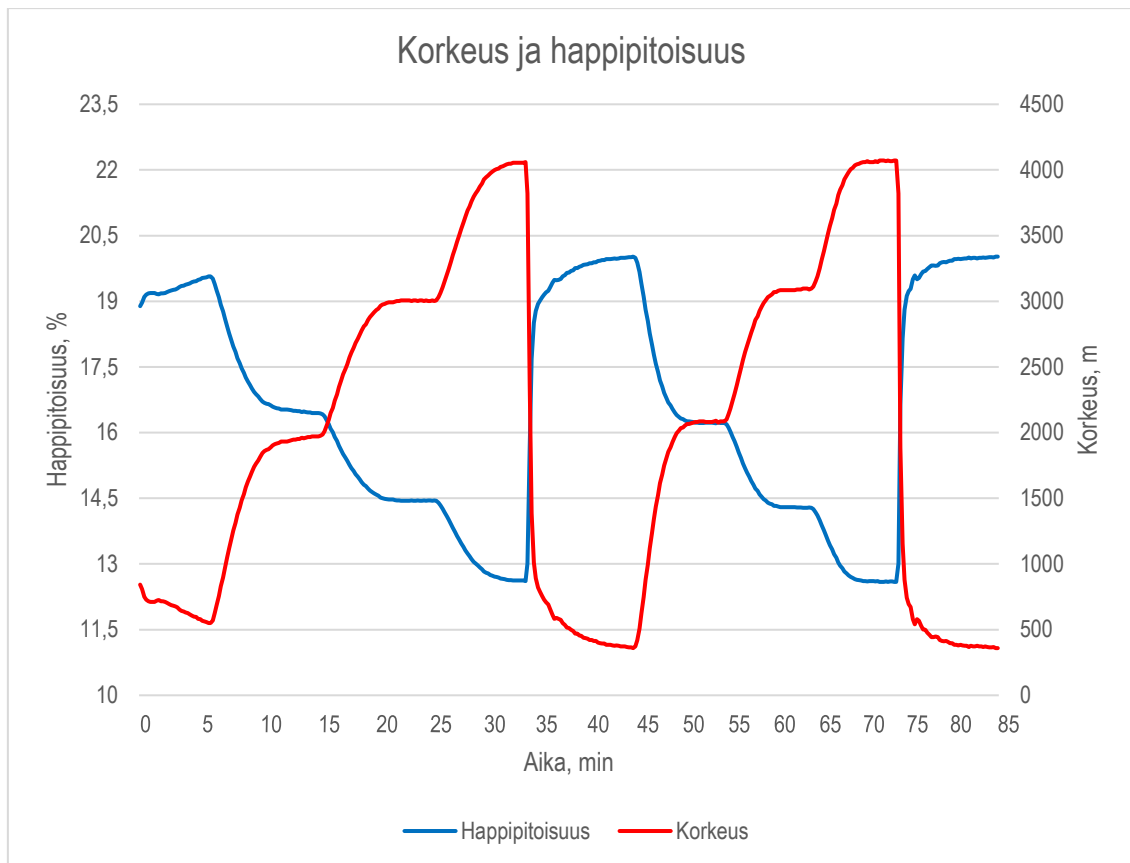
6 TULOKSET

Testattavia henkilöitä oli kymmenen, viisi naista ja viisi miestä. Henkilöissä oli myös eri-ikäisiä testattavia. Kaikkien henkilöiden kanssa testaukset sujuivat hyvin ja vaivattomasti. Testattavat olivat kiinnostuneita testistä ja mittauksista. Kaikkien happisaturaatiomittauksien kuvaajat on esitetty liitteessä 1.

Teltassa oli Hypoxicon mittalaite, joka mittasi eri arvoja. Mittalaitteeseen oli kytketty tietokone, jossa oli ohjelmisto, joka tallensi mittalaitteen arvot tiedostoon. Ohjelmiston avulla mittalaitteen tulokset saatiin tallennettua ja niitä päästiin analysoimaan. SOMNOmedicsin mittalaite oli testihenkilön sormessa ja laite mittasi ja tallensi tulokset testin ajalta.

6.1 Korkeus ja happipitoisuus

Simuloitu korkeus ja vaikuttavan hapen pitoisuus mitattiin koko testauksen ajan. Ohjelmisto tallensi mittalaitteen arvot 10 sekunnin välein. Yhden testin korkeudet ja happipitoisuudet on esitetty kuviossa 5.



KUVIO 5. Korkeuden ja happipitoisuuden välinen yhteys

Kuvasta näkee, miten happipitoisuuden aleneminen on suoraan verrannollinen simuloituun korkeuteen. Testipaikka oli sisätiloissa pienessä huoneessa niin happipitoisuus oli jo alussa hieman ulkoilman normaalia 20,9 %:a alemmalla tasolla. Tästä syystä korkeuskaan ei näyttänyt nolaa metriä. Noin 4 000 metrin korkeudessa happipitoisuus on enää alle 13 %. Simuloitu korkeus saatiin teltan sisältä mitatusta happipitoisuudesta.

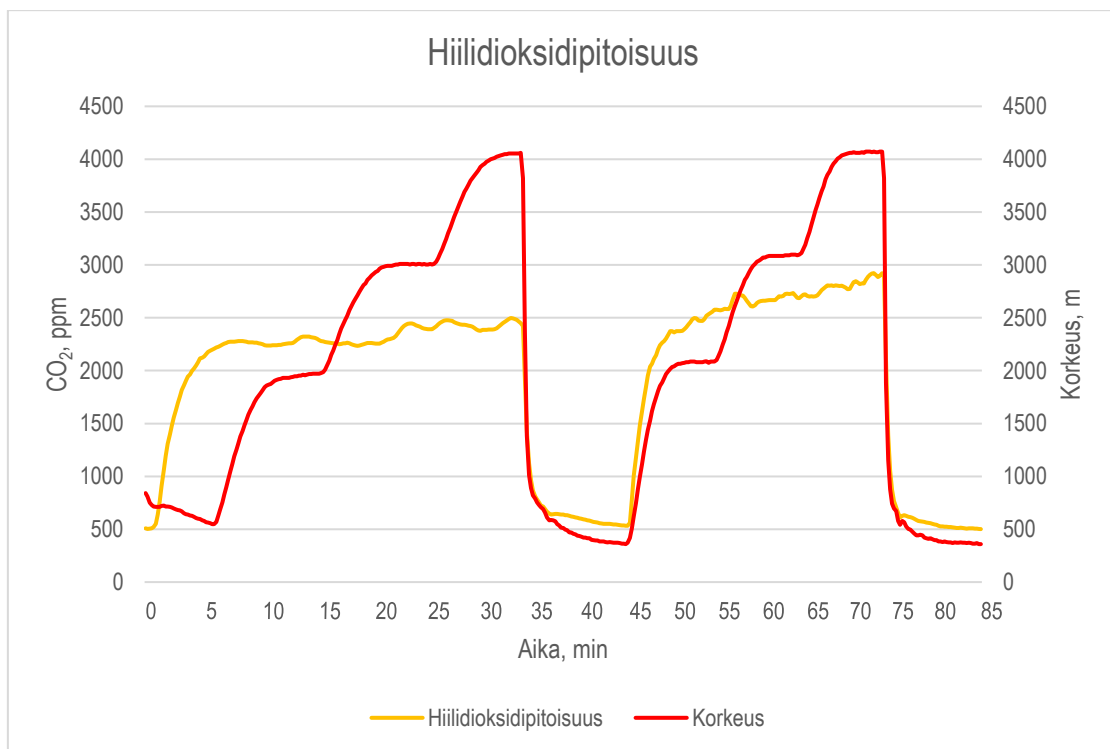
6.2 Korkeus ja ilmanpaine

Teltassa ollut laite mittasi myös ilmanpaineen. Ilmanpaine ei muuttunut ollenkaan testien aikana, kun oltiin vapaassa ilmassa. Mittalaite mittasi jokaisessa testissä normaalin ilmanpaineen eli noin 1,01 baarin lukemia.

Ilmanpaineessa on isoin ero, kun simuloidaan korkeutta generaattorin avulla meren pinnan tasolla. Happiteltassa ilmanpaine ei muutu ollenkaan. Kun ollaan oikeasti korkealla, niin ilmanpaine pienee sitä enemmän, mitä korkeammalle mennään. Generaattori tuottaa vähähappista ilmaa, jolla saadaan vaikuttavan hapen pitoisuus laskemaan ilman hapen osapaineen (ilmanpaineen) laskua.

6.3 Hiilidioksidipitoisuus

Testeissä käytetty teltta oli tilavuudeltaan pieni. Vain henkilön ylävartalo oli teltan sisäpuolella. Pieni suljettu tila aiheutti hiilidioksidipitoisuuden suuren nousun, kun teltan helmat olivat alhaalla. Hiilidioksidipitoisuus nousi noin 500 ppm:n tasolta 2 000–3 000 ppm:n tasolle. Ohjelmisto tallensi mittalaitteen arvot 10 sekunnin välein. Yhden testin hiilidioksidipitoisuutta on esitetty kuviossa 6.



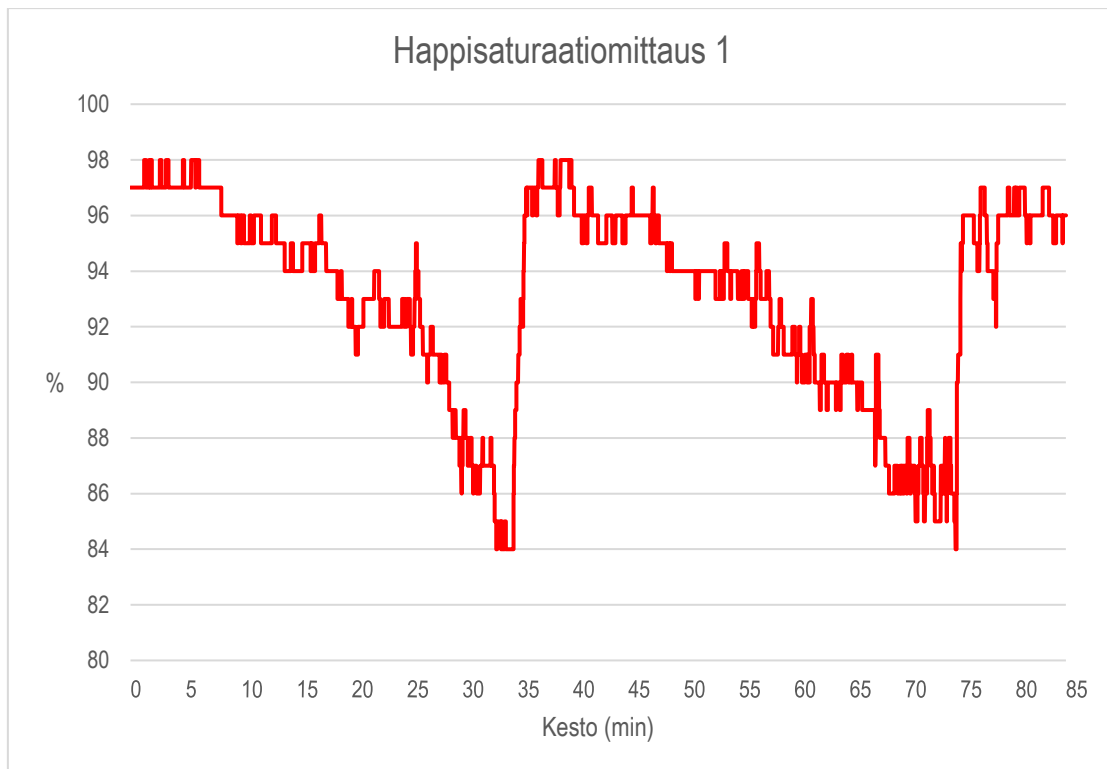
KUVIO 6. Hiilidioksidipitoisuus testissä

Veren sisältämän hemoglobiinin tehtävä on kuljettaa happea keuhkoista kaikkialle kehon kudoksiin. Bohrin efektin mukaan veren hiilidioksidimäärä säätelee kehon hapen saatavuutta. Hemoglobiini luovuttaa happea verestä vain hiilidioksidin läsnä ollessa. Mitä vähemmän hiilidioksidia, sitä vaikeammin happi irtoaa verisoluista. Veren sisältämä hiilidioksidi on erittäin tärkeää lihasten ja elinten hapen saannille. (13.)

Teltassa korkeaksi kohonnut hiilidioksidimäärä on voinut hieman jopa auttaa henkilön solujen happensaantia. Happisaturaatio ilmoittaa veren sisältämän happipitoisuuden. Testeissä henkilön happisaturaatioarvot ovat mittauksessa voineet hieman laskea korkeamman sisään hengitetyn hiilidioksidimäärän takia. Happi on voinut siirtyä korkeamman hiilidioksidimäärän avulla paremmin verestä kudoksiin ja sitä kautta happisaturaatioarvo laskee.

6.4 Happisaturaatio

Happisaturaatiomittauksen tulokset tallennettiin mittalaitteelle, josta ne tallennettiin ohjelmiston avulla tiedostoon. Mittalaitteen näytetaajuus oli 4 hertsiä, joten mittausarvoja tuli erittäin paljon testeistä. Testeissä käytettiin myös toista laitetta, josta nähtiin happisaturaatioarvot. Happisaturaatiomittauksen tuloksia on esitetty kuviossa 7.



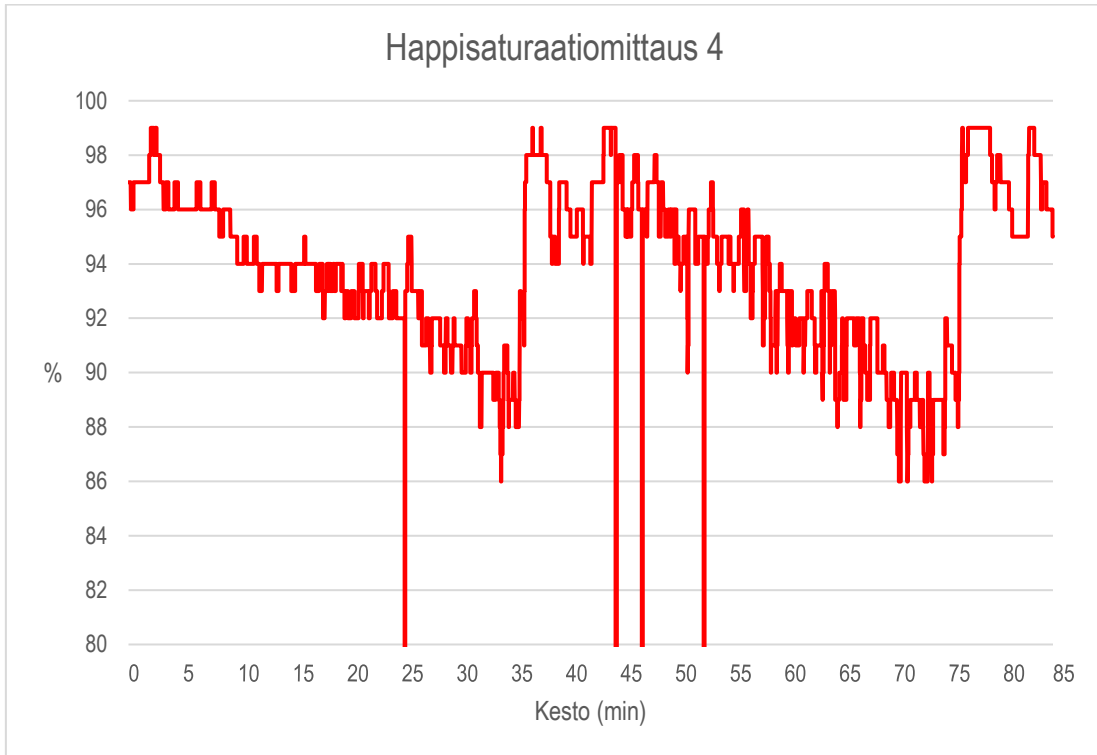
KUVIO 7. Happisaturaatiomittauksen tulos

Normaali happisaturaatiotaso on $> 95\%$. Optisen mittauksen lähtötasolla voi olla hieman eroja eri henkilöillä ihon sävyerojen vuoksi. Kaikilla testattavilla lähtötaso oli yli 96% . Mittaustuloksista näkee selkeät portaat eri korkeuksista. 2 000 metrin korkeudessa happisaturaatio oli vain noin 1–3 %-yksikköä alempana 0 metrin korkeuteen verrattuna. 3 000 metrin korkeudessa happisaturaatioarvot olivat noin 3–8 %-yksikköä alempana.

Selkeästi erottuvin tuloksissa oli 4 000 metrin korkeus. Tasossa tapahtui isoin muutos ja happisaturaatio oli selkeästi jo alempi, kuin 0 metrin korkeudessa. Ero oli joillakin henkilöillä 10–15 %-yksikköä alempana verrattuna lähtötasoon. Happisaturaatioarvo palautui todella nopeasti lähtötasolle, kun teltan helmat avattiin ja palattiin 0 metrin tasolle. Toisen kierroksen tuloksilla ei ollut merkittävää eroa ensimmäiseen. Erot olivat pääosin parin prosenttiyksikön sisällä, joten mittalaitteen mittaus-tarkkuus oli toistettavissa.

Osassa testejä oli hieman enemmän hajontaa kuin yllä olevassa testissä. Todella isoa hajontaa ei ollut kuitenkaan yhdessäkään mittauksessa. Osassa testeissä ei ollut kovin näkyviä eroja eri korkeuksista ja happisaturaatio ei käynyt ollenkaan alle 90% :ssa. Yhdessä testissä happisaturaatio

oli melkein koko testin ajan 96–100 %. Osassa testejä mittaus oli näyttänyt nolaa, mutta pätkät olivat vain muutaman sekuntien mittaisia. Mitatussa signaalissa on todennäköisesti ollut pieni häiriö. Noin pienet häiriöt eivät vaikuttaneet mittauksen laatuun ollenkaan. Toisen mittauksen tulos, missä näkyy hieman enemmän hajontaa on esitetty kuviossa 8.



KUVIO 8. Happisaturaatiomittauksen tulos

Kaikkien mittausten tulokset on kuvattu liitteessä 1. Osalla testattavista ei ollut hajontaa arvoissa oikeastaan ollenkaan ja osalla hieman enemmän. Niissä testeissä, missä ei ollut hajontaa, ei ollut myöskään katkoksia mittauksessa.

Mittalaite vaikutti reagoivan todella hyvin happisaturaation muutoksiin eri korkeuksissa. Mittauksissa ei ollut myöskään huojuntaa eikä häiriöitä muutaman sekunnin katkoksia lukuun ottamatta. Häiriöissä mittaus näytti aina 0 %. Mittalaitteen mittaamat ja tallentamat tulokset vaikuttavat erittäin luotettavilta ja käyttökelpoisilta.

7 YHTEENVETO

Työn tarkoituksena oli suunnitella ja suorittaa testauskierros happisaturaatiomittaukselle. Muita mittauksia tarkasteltiin samalla. Testauskierros ja mittaukset saatiin suoritettua sujuvasti läpi. Eri korkeuksien simulointi meren pinnan tasolla on suurelta osin eri tilanne kuin jos oikeasti ollaan korkealla. Ilmanpaineen aleneminen ja sitä kautta hapen osapaineen aleneminen ovat isoimmat erot, kun mennään oikeasti korkealle.

Tuloksissa ilmanpaine pysyi odotetusti samalla tasolla. Hiilidioksidipitoisuus kohosi voimakkaasti pienessä teltassa henkilön uloshengityksen sisältämän hiilidioksidin takia. Sitä ei tapahdu ulkoilmassa, kun ilman suhteellinen koostumus pysyy samana ja ilmanpaine vain muuttuu.

Happisaturaatiomittauksen laitteisto ja tallennus toimivat erittäin hyvin kaikissa testeissä. Mittaus-tulos reagoi erittäin nopeasti ja tarkasti simuloitujen korkeuksien muutoksiin. Isoa huojuntaa tai isoja virheitä tuloksissa ei havaittu. Osassa mittauksista oli pientä huojuntaa ja mittaustulos näytti nollaa muutamien sekuntien ajan. Tämän ei koettu vaikuttavan juurikaan mittauksen kokonaislaatuun.

Happisaturaatiomittauksen luotettavuus näyttää olevan erittäin tarkka ja käyttökelpoinen. Mittaus-laitteistoa voi lämpimästi suositella käytettäväksi vastaavissa testeissä ja harjoituksissa.

LÄHTEET

1. Holland, Kimberly 2019. Is My Blood Oxygen Level Normal? Healthline. Hakupäivä 7.9.2023. <https://www.healthline.com/health/normal-blood-oxygen-level>.
2. Suomalainen Lääkäri-seura Duodecim 2019. Valtimoveren happiosapaineen happisaturaation korrelaatio. Hakupäivä 11.9.2023. <https://www.kaypahoito.fi/imk00850>.
3. Partinen Markku. Mitä tehdä, jos älylaite kertoo muutoksista veren happipitoisuudessa? Terveystalo. Hakupäivä 11.9.2023. <https://www.terveystalo.com/fi/artikkelit/neurologi-vastaa-mita-tehda-jos-alylaite-kertoo-muutoksista-veren-happipitoisuudessa>.
4. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja 2023. Ilma. Hakupäivä 21.9.2023 Saatavissa: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Ilma>.
5. Ilmatieteen laitos 2023. Ilmanpaine. Hakupäivä 28.9.2023. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanpaine>.
6. Mide Technology Corporation. Air Pressure at Altitude Calculator. Hakupäivä 3.10.2023. <https://www.mide.com/air-pressure-at-altitude-calculator>.
7. Hacket Peter. Altitude Physiology. High Altitude Doctor. Hakupäivä 5.10.2023. <http://www.highaltitudedoctor.org/physiology>.
8. Higher Peak 2020. Altitude-Oxygen Chart. Hakupäivä 6.10.2023 <https://www.higher-peak.com/altitudechart.html>.
9. Hypoxico 2023. Everest Summit II Altitude Generator. Hakupäivä 16.10.2023. <https://hypoxico.eu/altitude-training-simulation-equipment/p/everest-summit-ii-altitude-generator?c=1>.
10. Hypoxico 2023. All-In-One Ambient Monitor. Hakupäivä 16.10.2023. <https://hypoxico.eu/altitude-training-simulation-equipment/p/all-in-one-ambient-monitor?c=7>.

11. SOMNOmedics 2023. SOMNOtouch™ RESP. Hakupäivä 25.10.2023. <https://somnomedics.de/enus/somnomedics-diagnostic-devices/sleep-diagnostics/somnotouch-resp-polygraphy/>.

12. Hypoxico 2023. Hypoxico Altitude to Oxygen Chart. Hakupäivä 3.11.2023
<https://cdn.shopify.com/s/files/1/0591/3106/8592/files/Hypoxico-Altitude-To-Oxygen-Chart.pdf?v=1633842140>.

13. Rantanen Tomi 2022. Bohrin efekti ja hiilidioksidin hyödyt kehossa. Parempi minä. Hakupäivä 24.11.2023. <https://parempimina.fi/artikkelit/bohrin-efekti-ja-hiilidioksidin-hyodyt-kehossa>

